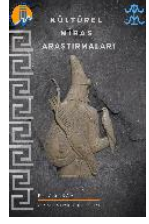




Kültürel Miras Araştırmaları
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/kulmira>
<https://www.kulmira.com/>
e-ISSN 2687-6094



Tarihi Çift Açıklıklı Kemerlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile CFRP Uygulamasının Değerlendirilmesi

Şükran Tanrıverdi ^{*1}, Tülin Çelik²

¹ Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm, Türkiye, sukrantugrulcelci@aksaray.edu.tr

² Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm, Türkiye, tulinsandikci@aksaray.edu.tr

Kaynak Göster: Tanrıverdi, Ş., & Çelik, T. (2025). Tarihi Çift Açıklıklı Kemerlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile CFRP Uygulamasının Değerlendirilmesi. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 6 (1), 52-57.

DOI: 10.59127/kulmira.1694507

Anahtar Kelimeler

Tarihi Kemerler
Güçlendirme
CFRP
Sayısal Modelleme

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.05.2025
Reviz: 14.05.2025
Kabul: 22.05.2025
Yayınlanma: 01.06.2025



Öz

Tarihi kemerler, geçmişin mühendislik bilgisini yansıtan ve farklı medeniyetlerin kültürel mirasını içinde barındıran önemli yapılardır. Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde inşa edilen kemerlerin bazıları günümüze kadar ulaşmayı başarmıştır. Ancak kemerlerin yapısal bütünlükleri deprem, çevresel faktörler, artan trafik yükleri ve yetersiz restorasyon uygulamaları nedeniyle giderek daha fazla tehdit altındadır. Bu kemerlerin sürdürülebilir bir şekilde korunması için, hem mühendislik açısından hem de kültürel mirasın korunması açısından onarım ve güçlendirme müdahaleleri esastır. Bu müdahaleler, yapıların orijinal malzemelerine ve mimari özelliklerine saygı göstermelidir. Bu çalışmada, tarihi bir çift açıklıklı kemer, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve yapısal hasar gören bölgelerinin lif takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirilmesi sağlanarak analiz edilmiştir. Çift açıklıklı kemerlerde güçlendirme uygulamasının etkinliği değerlendirilmeye alınmış ve elde edilen bulgular güçlendirilmesi için çözüm önerileri sunmaktadır.

Evaluation of CFRP Application of Historical Double Span Bridges with Finite Element Method

Keywords

Historical Arches
Reinforcement
CFRP
Numerical Modeling

Research Article

Received: 07.05.2025
Revised: 14.05.2025
Accepted: 22.05.2025
Published: 01.06.2025

Abstract

Historical arches are important structures that reflect the engineering knowledge of the past and contain the cultural heritage of different civilizations. Some of the arches built during the Seljuk and Ottoman periods in Anatolia have survived to the present day. However, their structural integrity is increasingly threatened by earthquakes, environmental factors, increasing traffic loads and poor restoration practices. For the sustainable preservation of these arches, repair and strengthening interventions are essential, both from an engineering point of view and from a cultural heritage conservation perspective. These interventions should respect the original materials and architectural features of the structures. In this study, a historic double span arch was modeled by finite element method and analyzed by reinforcing the structurally damaged areas with fiber reinforced polymer (CFRP). The effectiveness of the retrofitting application in double span arches is evaluated and the findings obtained provide solutions for retrofitting.

1. Giriş

Anadolu, tarihsel olarak farklı medeniyetlerin buluşma noktası olmuş ve bu medeniyetler, bölgenin bilimsel, kültürel ve sanatsal gelişimine önemli katkılarda bulunmuştur. Bu kültürel birikimin bir yansıması olarak, birçok tarihi yapı inşa edilmiştir. Bu yapıların korunarak gelecek nesillere aktarılması, toplumsal ve kültürel sorumluluğumuzun temel unsurlarından biridir.

Tarihi yapılarda kemerlerin basınç dayanımları çekme dayanımlarına göre daha yüksektir. Kemerli yapılarda düşey yüklerin yanında az da olsa yatay yüklerde görülmektedir. Bu yatay yüklere gelen çekme kuvvetleri gergi çubuklarıyla ya da CFRP, FRP gibi güçlendirme malzemeleri ile karşılanmaktadır. Kemer üzerine gelen düşey yükler kemerin üzeni yatağından geçerek kemer ayaklarına kadar iletilmektedir. Ülkemizde hala yığma yapıların inşa edilmesi süregelmektedir. Gelecekte de tarihi yığma yapıların değerini koruması için tarihi yapılardaki kemerlerin davranışlarının çok iyi bilinmesi, onarım ve güçlendirme işlemlerinin özenle yapılması gerekir. Tarihi kemerler, yalnızca ulaşımı sağlayan mühendislik yapıları değil, bulundukları dönemin mühendislik bilgi birikimini ve estetik anlayışını yansıtan önemli kültürel varlıklardır. Bu yapılar, geçmişte farklı topluluklar arasında ulaşım ve etkileşimi mümkün kılmış ve bölgesel kalkınmada önemli rol oynamıştır. Böylece tarihi köprülerin korunması yalnızca fiziksel bir zorunluluk değil, aynı zamanda kültürel mirasın sürdürülebilirliği açısından da bir gerekliliktir. Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, yapıların özgün kimliğinin korunması temel bir ilkedir. Bu süreçlerde, modern mühendislik tekniklerinin kullanılması kadar, yapının tarihi dokusuna uygun malzemelerin tercih edilmesi de büyük önem taşımaktadır [1-2]. Aslına uygun şekilde seçilen malzeme ve yenilikçi güçlendirme yöntemleri kullanılarak yapılan restorasyonlar ileride meydana gelebilecek yapısal bozulmaların önceden öngörülmesine ve önlenmesine katkı sağlamaktadır [3-4]. Şekil 1’de tarihi yapılarda görülen kemer örnekleri verilmiştir.



Şekil 1. Tarihi yapılarda kemer örnekleri.

Kemerlerin ve tonozların metal gergi çubukları CFRP ve FRP gibi kompozit malzemelerle güçlendirilmesiyle ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Tao vd. [5], çalışmalarında taş kemer köprüyü FRP ile güçlendirerek modellemiştir. Köprünün davranışını inceleyip güçlendirilmeden modellenen köprü ile karşılaştırmıştır. FRP malzemesinin köprünün yapısal performansını arttırdığı çalışma ile belirlenmiştir. Ural vd. [6], çalışmalarında, tarihi yığma kemerlerde kullanılan gergi çubuklarının etkisini deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemiştir. Biri gergi çubuksuz referans olarak adlandırılan, beş tanesi de farklı şekillerde üretilmiş gergi çubukları ile güçlendirilmiş kemer numunesinin üzerine düşey yönde yük uygulamışlardır. Sayısal analizler, deneysel verilerle büyük ölçüde uyumlu bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar doğrultusunda, bazı tekniklerin taşıma kapasitesini artırdığı, bazı uygulamalarda ise beklenen katkının sınırlı kaldığı anlaşılmıştır. Bu araştırma, farklı bağlantı çubuğu yerleşimlerinin, özellikle düşey yükler altında dairesel tuğla kemerlerin yapısal bütünlüğünün korunmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Tanrıverdi [7], yığma tonozların güçlendirilmesinde çelik takviyesi ve CFRP şerit uygulamalarının etkilerini incelemiştir. Altı tonoz numunesi eksenel basınç altında test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, CFRP donatılı numunelerin taşıma kapasitesinin, referans numuneye göre en az %45 arttığını göstermektedir. Sayısal analizler ise deneysel verilerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu bulgular, CFRP şeritlerin tonoz yapılarındaki taşıma kapasitesini artırmada etkili bir güçlendirme yöntemi olduğunu ortaya koymuştur. Song vd. [8], farklı şekillerde CFRP ile güçlendirilmiş yedi adet kemerli yapının sayısal simülasyon araştırılmasını yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda kemerli yapının statik hasar modu ortaya çıkarılmıştır. CFRP’nin kemerin yüzeyine uygulanmasının yapının çatlama yükünü ve nihai yükünü artırdığını belirlemişlerdir. Zekavati [9], Mikron Köprü’sünü, güçlendirmeden ve FRP malzemesi kullanarak güçlendirerek sismik ve ölü yük altında analizini yapmıştır. Köprünün gerçek davranışına yaklaşmak için FEM ve DEM kombinasyonu kullanılmıştır. Sismik analizden elde edilen sonuçlar, FRP ile güçlendirilen köprüde köprü yapısının bazı kısımlarının hasar gördüğünü ancak yıkılmadığını göstermiştir. Cavuşlu & Ülger [10], Batıyaz Köprüsü’nün kemerini FRP ve metal bağlayıcılar (kenet-zivana) ile güçlendirip, sismik performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda metal bağlayıcıların (kenet-zivana) FRP’ye göre yapıyı daha yüksek düzeyde iyileştirdiği belirlenmiştir. Lin vd. [11], hem güçlendirilmemiş hem de FRP ile güçlendirilmiş tarihi yığma kemerli yapıların deprem davranışını araştırmıştır. Çalışmasında, monolitik basınç ve döngüsel yükleme testleri yoluyla, hasar modlarını, kemerin dayanımını, gerinim dağılımını ve enerji yutma kapasitesini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre güçlendirilmiş kemerli yapının, güçlendirilmemiş kemerli yapıya göre maksimum taşıma kapasitesinde %69,9 artış, maksimum sertlikte 5,7 kat ve toplam enerji dağıtma kapasitesinde 3,46 kat artırdığı belirlenmiştir.

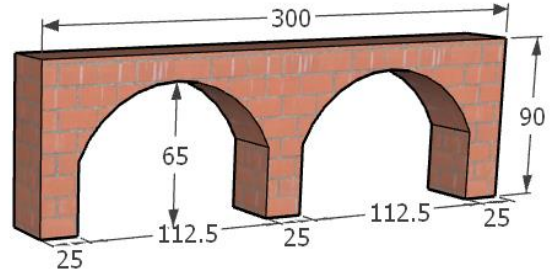
Tarihi kemer köprülerin davranışlarının incelendiği çalışmalarda bulunmaktadır. Kormaz vd. [12], Rize-Ardeşen Timisvat tarihi kemer köprüsünün dinamik davranışı incelenmiştir. Kemer köprü, sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş ve deprem ivme kayıtlarıyla zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, tarihi yapının deprem performansına dair sonuçlar sunmakta ve benzer yapılar için güçlendirme önerileri geliştirmektedir. Sözen & Çavuş [13], çalışmada, zamanla şekilsel değişimlere uğramış tarihi Yılanlı (Leylekli) köprüsünün deprem performansı analizini yapmışlardır. Köprünün orijinal ve değiştirilmiş halleri, ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak 3D model olarak oluşturulmuş ve her iki yapı için statik ile dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler, köprünün geometrik formundaki değişikliğin, yapısal deprem performansını iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Hem statik hem de dinamik analiz sonuçları, asimetrik modelin daha az deformasyona uğradığını ve yapısal rijitliğin arttığını göstermektedir. Sonuç olarak form değişikliğinin yapısal sertliği artırarak deprem yükleri altındaki performansı geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Usta Evcı vd. [14], tarihi Yeşildere Köprüsü'ne odaklanarak tarihi yığma kemer köprülerin sismik davranışlarını ele almışlardır. SAP2000 programı kullanarak modellenmiştir. TBDY 2018'de tanımlanan deprem yer hareketi seviyeleri ele alınarak köprü modelinde doğrusal zaman geçmişi analizi, tepki spektrumu analizi ve modal analizi yapılmıştır. Modal analiz sonuçları, köprünün mod şekillerini ve periyot değerlerini sağlamıştır.

Bu çalışmanın amacı, tarihi çift açıklıklı kemerlerin onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) malzemesinin tarihi kemerler üzerindeki etkilerini incelemektir. Yığma taş veya tuğla kemerlerde, zaman içerisinde çevresel faktörler ve kullanıma bağlı olarak yapısal olarak bozulmalar meydana gelebilir. Bu yapısal bozulmaların giderilmesinde modern güçlendirme yöntemleri, özellikle CFRP, kemerler için önemli bir çözüm sunmaktadır. CFRP'nin tarihi kemerlerin güçlendirilmesindeki etkinliği, bu çalışmada, malzeme özellikleri ve uygulama yöntemleri açısından değerlendirilecektir. Bu çalışma, tarihi kemerlerin onarım ve güçlendirilmesinde yenilikçi güçlendirme tekniklerinin etkinliğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. Yöntem

Çalışmada Şekil 2'de gösterilen boyutlardaki çift açıklıklı kemerlerin analizleri LUSAS [15], paket programı kullanılarak yapılmıştır. Yığma yapıların analizinde üç farklı modelleme tekniği kullanılmaktadır. Bunlar; basitleştirilmiş mikro modelleme, detaylı mikro modelleme ve makro modelledir. Basitleştirilmiş mikro modellemede, yığma yapıyı meydana getiren taş, tuğla gibi yığma birimler harcın kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harc ihmal edilip, arayüzey oluşturulmaktadır. Bu modellemede oluşacak çatlakların bu ara yüzeylerde meydana geldiği belirtilmiştir. Detaylı mikro modellemede yığma birim ve harcın mekanik

özellikleri (elastisite modülü, poisson oranı ve plastic özellikleri) ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Detaylı mikro modellemede meydana gelecek çatlakların yığma birim ile harç arasındaki yüzeyde oluşacağı kabul edilmiştir. Bu çalışmada da kullandığımız makro modelleme tekniğinde ise, yığma birim ve harç homojen olarak düşünülüp, yığma birim ve harcın mekanik özellikleri ayrı ayrı tanımlanmamaktadır. Yığma birim ve harçtan oluşturulan yığma duvarlar kompozit olarak düşünülüp, elde edilen yığma duvarın mekanik özellikleri analizde kullanılmaktadır.

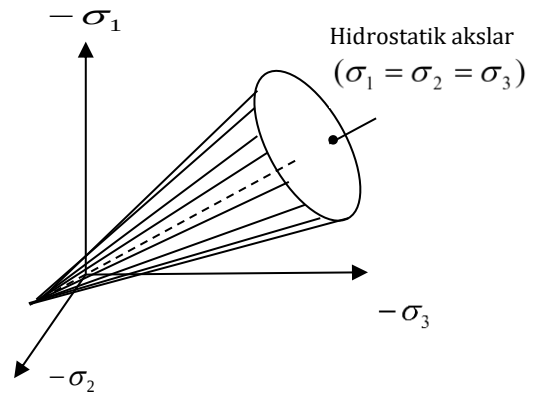


Şekil 2. Çift açıklıklı kemer boyutları.

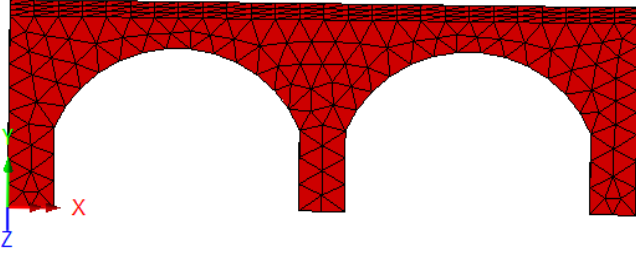
Biri CFRP ile güçlendirilmiş, diğeri hiçbir güçlendirme işlemi yapılmadan referans olarak ele alınmış çift açıklıklı kemerlerin analizinde makro modelleme kullanılmıştır. Elasto-plastik davranışı temsil eden Drucker-Prager kriteri ele alınmıştır. Genelde makro modellemelerde elasto-plastik davranışı temsil eden kriter Drucker-Prager kriteridir. Bu kriter enerji hipotezlerinden Von-Mises kriterinin basitleştirilmiş halidir. Drucker-Prager kriterinde ve Von-Mises kriterinde hidrostatik gerilme etkisi Denklem (1) ile ifade edilmektedir [15].

$$f(I_1, J_2) = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (1)$$

Denklemdeki k ve α malzeme sabitleridir. I_1 ; gerilme tansörünün birinci invariantını, J_2 ; deviatorik gerilme tansörünün ikinci invariantını ifade etmektedir. $\alpha = 0$ olduğunda Drucker Prager kriteri, Von-Mises kriteri ile aynı olmaktadır. Şekil 3'de Drucker-Prager kriterinin üç boyutlu gerilme hali için kırılma yüzeyi gösterilmektedir. Çift açıklıklı kemerin meshlenmiş hali Şekil 4'de verilmiştir.



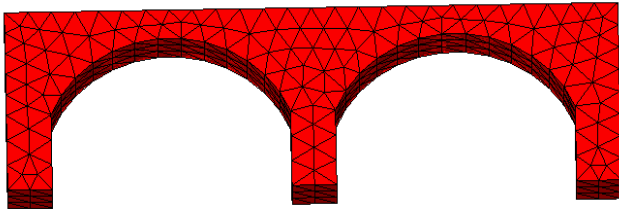
Şekil 3. Drucker-Prager kriteri [15].



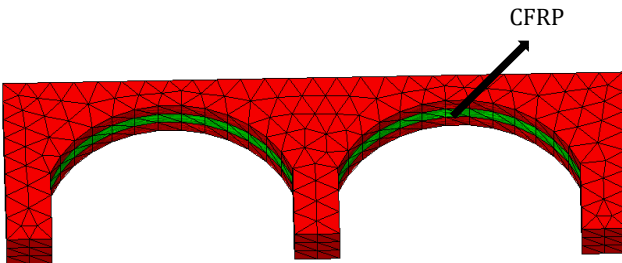
Şekil 4. Çift açıklıklı kemer modelin mesh hali.

Çift açıklıklı kemerin analizinde her düğümde 3 serbestlik derecesi ve 10 düğüm noktası olan 3 boyutlu tetrahedral katı elemanlar kullanılmıştır. Kemerin eleman ve düğüm noktaları sayıları sırası ile 2103 ve 639'dur. Kemer ayaklarının dış tarafları z yönünde sabitlenmiştir. Kemer ayakları alt taraftan mafsallı olarak mesnetlenmiştir. Kemerin üst yüzeyine, iki açıklık boyunca eşit dağıtılmış yayılı yük uygulanmıştır.

Analizde, kemerin yığma birimi için elastisite modülü 3743, poisson oranı 0.2, kohezyonu 2.5 ve içsel sürtünme açısı 25 alınmıştır (Ural vd., 2016). Güçlendirilmiş kemerde kullanılan CFRP malzemesi için elastisite modülü 25000, poisson oranı 0.3 ve başlangıç tek eksenli akma gerilimi 350 olarak belirlenmiştir (Tanrıverdi, 2023). Şekil 5'de analizi yapılan modellerin çizimleri, Şekil 6'da analiz sonrası çift açıklıklı kemerlerin plastik şekil değiştirme görüntüsü ve Şekil 7'de de analiz sonucuna göre modellerin yük-deplasman grafikleri verilmiştir. Tablo 1'de analizde kullanılan malzeme özellikleri, Tablo 2'de modellerin analiz sonucunda taşıdıkları maksimum yük ve maksimum yük altındayken yapmış oldukları düşey yerdeğiştirme değerleri gösterilmiştir.



a) Referans model

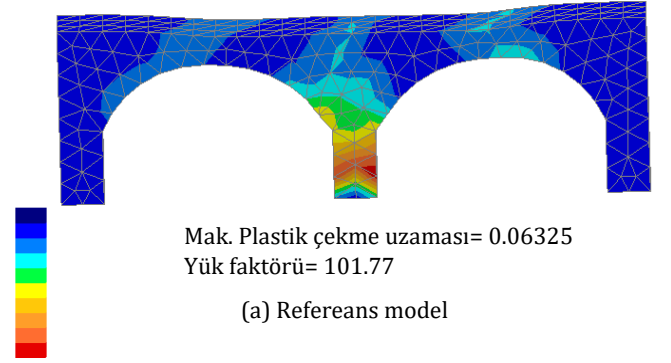


b) CFRP ile güçlendirilmiş model

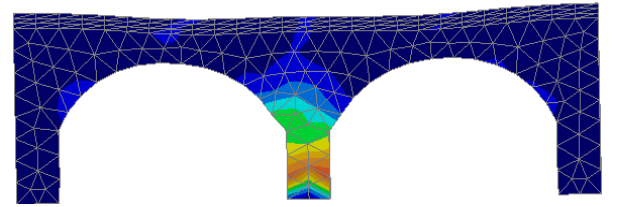
Şekil 5. Analizi yapılan modeller.

Tablo 1. Analizde kullanılan malzemelerin özellikleri.

Malzeme	Özellikler	Değer
Yığma birim	Elastisite modülü (MPa)	3743
	Poisson oranı	0.2
	Kohezyon (MPa)	2.5
	İçsel sürtünme açısı	25
CFRP	Elastisite modülü (MPa)	25000
	Poisson oranı	0.3
	Başlangıç tek eksenli akma gerilimi	350



(a) Refereans model

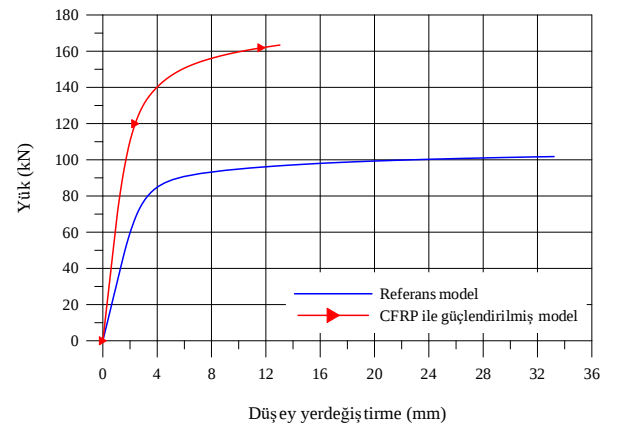


(b) CFRP ile güçlendirilmiş model

Şekil 6. Analiz sonrası çift açıklıklı kemerlerin plastik şekil değiştirme görüntüsü.

Tablo 2. Analiz sonuçları.

Modeller	Maksimum Yük (kN)	Düşey yerdeğiştirme (mm)
Referans model	101.77	33.22
CFRP ile güçlendirilmiş model	163.38	13.03



Şekil 7. Analiz sonucuna göre yük-deplasman grafiği.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, biri herhangi bir takviye içermeyen ve “referans model” olarak adlandırılan, diğeri ise karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş olmak üzere iki farklı çift açıklıklı kemer modeli incelenmiştir. Güçlendirilmiş modelde, kemerin iç bölgesine her iki uçtan 50 mm boşluk bırakılarak, orta kısımdan 50 mm genişliğinde CFRP şeridi uygulanmıştır. Her iki analizde, modelin yayılı yük etkisi altında davranışlarını incelemek amacıyla yükleme yapılmış; analizler, LUSAS sonlu elemanlar yazılımı aracılığıyla makro modelleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda detaylı şekilde sunulmaktadır.

- Yapılan sonlu eleman analizleri, CFRP ile güçlendirilmiş çift açıklıklı kemer modelinin yapısal performans açısından referans modele kıyasla belirgin üstünlükler sağladığını ortaya koymuştur. Referans model, maksimum 101.77 kN'luk yük taşıma kapasitesine sahipken, CFRP takviyesi uygulanan model bu kapasiteyi %60.53 oranında artırarak 163.38 kN'a ulaştırmıştır. Bu önemli artış, CFRP şeritlerin kemer davranışı üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır.
- Düşey yer değiştirme değerleri incelendiğinde, referans modelin maksimum yük altında 33.22 mm'lik yer değiştirme yaptığı, buna karşın güçlendirilmiş modelin yalnızca 13.03 mm yer değiştirdiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, CFRP ile yapılan takviyenin deformasyon üzerinde doğrudan sınırlayıcı bir etki yarattığını göstermektedir.
- Buna ek olarak, plastik çekme uzaması değerleri de güçlendirme uygulamasının yapıya kazandırdığı sünekliği ortaya koymaktadır. Referans modelde bu değer 0.06325 iken, CFRP ile güçlendirilmiş modelde yaklaşık üç kat artışla 0.17836'ya yükselmiştir. Bu durum, CFRP takviyesinin yalnızca taşıma kapasitesini değil, aynı zamanda enerji yutma kapasitesini de anlamlı şekilde artırdığını göstermektedir.

Bu veriler doğrultusunda, CFRP ile yapılan yüzeysel güçlendirme uygulamasının tarihi yığma kemerlerde sadece taşıma kapasitesini değil, aynı zamanda deformasyon kontrolü ve süneklik gibi yapısal performans kriterlerini de iyileştirdiği görülmektedir. Elde edilen bulgular, tarihi yapıların güçlendirilmesine yönelik çağdaş mühendislik yaklaşımlarının, yapıların özgünlüğüne zarar vermeden etkili çözümler sunabileceğini göstermektedir. İleride yapılacak deneysel ve yerinde test destekli çalışmalar, CFRP uygulamalarının saha koşullarında da geçerliliğini test etme açısından önem taşımaktadır.

Araştırmacıların katkı oranı

Şükran Tanrıverdi: Modelleme, Veri Toplaması, Metodoloji, Makale yazımı, Kontrol, **Tülin Çelik:** Literatür taraması, Düzenleme, Makale Yazımı, Kontrol.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

1. Erdoğan, F. (2023). Hatalı malzeme ve yanlış müdahale uygulama örneği olarak Burhaniye Ağacık Caminin değerlendirilmesi. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 4(1), 16-28. <https://doi.org/10.59127/kulmira.1230042>
2. Celik, T., (2020). Tarihi cami kubbelerinde güçlendirme yöntemlerinin deneysel metotlarla incelenmesi. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 246s.
3. Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Determination of Stone Material Deteriorations on the Facades with the Combination of Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Historical Burdur Station Premises. *Advanced Geomatics*, 2(2), 65-72.
4. Kurt, M., & Kurt, A. (2024). İşhan Kilisesinin onarım ve güçlendirmesinde kullanılan müdahale yöntemlerinin incelenmesi. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.59127/kulmira.1386234>
5. Tao, Y., Stratford, T. J., & Chen, J. F. (2011). Behaviour of a masonry arch bridge repaired using fibre-reinforced polymer composites. *Engineering Structures*, 33, 1594-1606. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.01.029>
6. Ural, A., Fırat, F. K., Tuğrululç, Ş., & Kara, M. E. (2016). Experimental and numerical study on effectiveness of various tie-rod systems in brick arches. *Engineering Structures*, 110, 209-221. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.038>
7. Tanrıverdi, S. (2023). An experimental and numerical study of the strengthening of masonry brick vaults. In *Structures*, 47, 800-813. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.098>
8. Song, X., Yue, Z., Zheng, E., Zhou, J., Xu, Y., Kong, X., & Zhou, Y. (2024). Numerical simulation on the load-bearing capacity of CFRP-strengthened concrete arches. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03137. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03137>
9. Zekavati, M. (2024). Finite element modeling of the influence of FRP techniques on the seismic behavior of an arch stone bridge of historical interest. *Insight-Civil Engineering*, 7(2), 619-619. <https://doi.org/10.18282/ice.v7i2.619>
10. Cavuslu, M., & Ülger, T. (2025). Enhancing the seismic resilience of the Batiayaz masonry bridge, aftermath of 2023 Kahramanmaraş earthquakes, using iron and FRP clamp-dowel connectors in the arch: Failure tests and numerical

- modelling. Engineering Failure Analysis, 175, 109544.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.109544>
11. Lin, B., Chun, Q., & Ma, Y. (2025). Seismic behavior of historical masonry arched walls reinforced with novel hybrid FRPs. In Structures, 71, 107987.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107987>
 12. Korkmaz, K. A., Zabin, P., Çarhoğlu, A. İ., & Nuhoglu, A. (2013). Taş kemer köprülerin deprem davranışlarının değerlendirilmesi: Timisvat Köprüsü örneği. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2(1), 66-75.
 13. Sözen, Ş., & Çavuş, M. (2020). Tek açıklıklı tarihi taş köprülerde form değişikliğinin köprünün sismik davranışına etkisinin değerlendirilmesi: Niksar Yılanlı (Leylekli) Köprü Örneği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1), 48-59.
<https://doi.org/10.29130/dubited.589223>
 14. Usta Evcı, P., Sever, A. E., Şakalak, E., & Ünveren, C. (2024). Examination Of The Seismic Behavior Of The Historical Yeşildere Bridge. Konya Journal Of Engineering Sciences/Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2).
<https://doi.org/10.36306/konjes.1427898>
 15. LUSAS. (2020). Finite element analysis software products. United Kingdom: finite element system. FEA Ltd.
 16. Tanrıverdi, Ş. (2020). Taş kubbelerde pencere boşluğunun ve kasnak yüksekliğinin davranış ve dayanım üzerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 158s.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>